UNIVERSITE PARIS VII

C. H. U. LARIBOISIERE – SAINT-LOUIS

Année 1973

12

# Thèse

pour le

**Doctorat en Médecine**

*(Diplôme d'Etat)*

par

**Philippe Albert COURTIN**

*né le 21 octobre 1941*
*à Choisy le Roi*

Externe des Hôpitaux de Paris.

---

*Présentée et soutenue publiquement le 28 février 1973*

---

## CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'HABITUATION VESTIBULAIRE CHEZ LE PERSONNEL NAVIGANT TECHNIQUE.

**(Surveillance de l'apparition de ce phénomène au cours du vol. Reproduction expérimentale au sol.)**

---

Président : M. PIALOUX - Professeur.

---

UNIVERSITE PARIS VII

C. H. U. LARIBOISIERE – SAINT-LOUIS

Année 1973

# Thèse

pour le

**Doctorat en Médecine**

*(Diplôme d'Etat)*

par

**Philippe Albert COURTIN**

*né le 21 octobre 1941*
*à Choisy le Roi*

Externe des Hôpitaux de Paris.

---

*Présentée et soutenue publiquement le 28 février 1973*

---

## CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'HABITUATION VESTIBULAIRE CHEZ LE PERSONNEL NAVIGANT TECHNIQUE.

**(Surveillance de l'apparition de ce phénomène au cours du vol.**

**Reproduction expérimentale au sol.)**

---

Président : M. PIALOUX - Professeur.

---

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A mes grands-parents,
A mes parents,
A mes beaux-parents,

A ma femme,
A mes enfants,
A ma famille,
A mes amis,

Ce bien modeste témoignage de reconnaissance.

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A notre maître et président de thèse,

Monsieur le Professeur Agrégé P. PIALOUX

qui nous fit l'honneur de nous confier ce travail et de nous accueillir dans son service.

Nous rendons hommage à sa haute compétence et nous le remercions de l'intérêt qu'il nous porte.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549227_0037

Nous remercions

Monsieur le Médecin Colonel P. ROBERT,

Monsieur le Médecin Colonel A. GIBERT,

Monsieur le Médecin Colonel P. BLANC.

Ils ont bien voulu nous permettre d'utiliser leurs installations du Centre d'Expertise du Personnel Navigant et nous confier l'examen des membres du Personnel Navigant Technique.

A nos maîtres dans les Hôpitaux :

Monsieur le Docteur P. FONTELLE

Il fut pour nous un précieux conseiller dont nous ne saurions oublier l'inaltérable bienveillance.

Monsieur le Docteur R. MASPETIOL

Il nous a accueilli avec grande bonté dans son service de l'Hôpital des Enfants Malades.
Nous y avons apprécié sa gentillesse et sa courtoisie.
Qu'il soit assuré de notre gratitude et de notre attachement.

Monsieur le Docteur J. SUDAKA

Monsieur le Docteur C. AUTIER

Monsieur le Docteur F. PAIN

Ils ne nous ont ménagé ni leur temps ni leur dévouement.
Qu'ils veuillent trouver ici le témoignage sincère de notre gratitude et de notre affectueux attachement.

Monsieur le Professeur Agrégé J. ANDRIEU

Sa compétence, sa rigueur, sa bienveillante humanité nous ont converti à l'O.R.L.
Qu'il soit assuré de notre dévouement et de notre attachement.

Monsieur le Docteur P. NARCY

Ses conseils et toutes les manifestations de son amitié nous ont beaucoup aidé dans l'apprentissage de notre spécialité.

Monsieur le Professeur Agrégé G. FREYSS

Messieurs les Docteurs M. de SAINT MACARY et Y. TROTTOUX

A mes Maîtres d'Externat

Monsieur le Docteur A. DUFOUR
Chirurgien des Hôpitaux de Paris

Monsieur le Professeur Agrégé J. NATALI
Chirurgien de l'Hôpital de La Salpêtrière

Monsieur le Professeur M. AUBRY

Monsieur le Professeur Agrégé F. BESANÇON
Médecin de l'Hôpital Vaugirard

# INTRODUCTION

Si l'étude de l'habituation vestibulaire connaît peu d'application en clinique humaine, il faut bien reconnaître que la connaissance plus précise de ses caractéristiques, de ses mécanismes de survenue, revêtent une grande importance depuis l'avènement de l'ère aérospatiale.

Nous exposerons donc dans la première partie de ce travail consacrée à une revue de la littérature, ce qui concerne la définition de l'habituation vestibulaire, ses caractéristiques physiologiques, ses modes de reproduction expérimentale, son importance dans les réactions des personnels navigants face à des stimuli vestibulaires nuisibles.

Dans la deuxième partie, nous montrerons qu'il est possible, grâce à la mesure comparative de la fréquence totale des secousses gauches et des secousses droites, calculées sur un nystagmogramme enregistré au cours d'une épreuve pendulaire, de mettre en évidence une habituation vestibulaire chez le personnel navigant technique militaire et civil, et, dans une certaine mesure, d'en apprécier l'importance.

Nous montrerons en revanche qu'il n'a pas été possible d'isoler des résultats significatifs mettant en évidence une habituation vestibulaire lors d'une stimulation se développant dans le plan vertical.

Il apparaîtra que l'habituation vestibulaire, telle qu'elle a été mise en évidence par ces critères particuliers, peut être développée chez un grand nombre d'individus en stimulant les canaux semi-circulaires horizontaux par un protocole expérimental relativement simple faisant appel à la combinaison de deux mouvements actif et passif se développant dans deux plans différents.

## DEFINITION DE L'HABITUATION VESTIBULAIRE

L'habituation est une réaction générale à toute stimulation sensorielle répétée, quelle soit spécifique ou non spécifique, de nature tactile, visuelle, acoustique ou, comme nous le verrons, de nature vestibulaire.

C'est un processus physiologique qui se caractérise par une décroissance progressive de la réponse à des stimuli répétés ayant des paramètres identiques. Elle a été largement mise en évidence dans une grande partie du règne animal.

THORPE (46) (1950) en donnait la définition suivante : L'habituation est : «une activité du système nerveux central grâce à laquelle la réponse naturelle à certains stimuli relativement simples, en particulier ceux qui laissent prévoir un danger, décroît, alors que le stimulus continue pendant une longue période sans donner de résultat défavorable pour le sujet».

Mais il semblerait plutôt que l'habituation se développe surtout en réponse à des stimuli insignifiants pour l'individu, un stimulus avertissant d'un danger potentiel pouvant bien sûr devenir insignifiant si ce danger n'apparaît pas, alors que tout signal d'importance vitale, comme un stimulus nociceptif, n'engendre pas l'habituation.

Dans cette acception propre, l'habituation est un aspect du contrôle général du système nerveux central s'exerçant sur les influx sensoriels permettant à l'individu de faire une discrimination entre tous les stimuli se portant à son attention.

MONNIER, BELIN, POLC (39) la caractérisent ainsi :
«Elle se manifeste par une décroissance progressive des réponses sensorielles à des stimuli répétés à intervalles réguliers, caractéristiques de l'habituation».
Elle montre une certaine spécificité pour les stimuli d'habituation.
Elle survient pour des stimuli de faible intensité».

L'habituation vestibulaire a été découverte par les oto-neurologistes :

ABELLS, (1) en 1906, rapporte que le nystagmus post-rotatoire chez l'homme, décroît après des stimulations répétées.

DODGE, (21) en 1923, introduit pour la première fois le terme d'«habituation».

Plus tard, l'habituation est également découverte pour les stimulations caloriques et HENRIKSSON (39) et ses collaborateurs (1961) utilisèrent ce terme pour rendre compte du phénomène de réduction progressive pour la réponse nystagmique d'une stimulation rotatoire ou calorique répétée ainsi que :
BARBER et WRIGHT (3) (1967) qui ont défini l'habituation comme une diminution de la réponse due à des stimulations répétées caloriques ou rotatoires d'un canal semi-circulaire.

Notons que HALLPIKE et HOOD (33) (1953) utilisèrent pour la première fois le terme de «déclin de la réponse» (response decline) pour tenter d'éliminer certaines difficultés de terminologie concernant les effets de fatigue et d'adaptation et pour permettre à ces auteurs ainsi qu'aux autres chercheurs de parler de processus d'habituation sans spécifier lequel de ces deux facteurs (fatigue ou adaptation) en était le responsable.

Le développement des méthodes électrophysiologiques d'enregistrement, d'analyse, de stimulation, a grandement contribué, durant les vingt dernières années à mettre en évidence les conditions nécessaires à la survenue de l'habituation et à en comprendre le mécanisme.

Il est également évident que le rôle capital que joue la survenue de l'habituation vestibulaire dans l'amélioration du confort et des performances des astronautes et des pilotes, a été un stimulant de la plus grande importance dans le sens de ces recherches.

## CARACTERISTIQUES DE L'HABITUATION VESTIBULAIRE

Le processus d'habituation vestibulaire présente quatre caractéristiques principales :
— l'acquisition
— la rétention
— la perte ou déshabituation
— le transfert

Chacune de ces quatre caractéristiques peut être retrouvée chez l'homme ou chez l'animal.

**1 — Acquisition de l'habituation vestibulaire**
MEUNIER, BELIN, POLC (39) (1970) en donnent la définition suivante : «C'est la diminution progressive de la réponse quand le stimulus est répété plusieurs fois».

En effet, au cours de stimulations répétées, les réponses diminuent de l'une à l'autre. L'habituation du nystagmus obtenue par des stimulations rotatoires est acquise après un nombre variable de stimulations, selon des techniques différentes (voir plus loin), ainsi que celle du nystagmus obtenue pour des stimulations caloriques.

On peut exprimer cette acquisition :
— en diminution des amplitudes des phases rapides ou lentes
— en baisse de la fréquence durant l'accélération pré-rotatoire ou la décélération post-rotatoire.

La sensation giratoire, les nausées, la pâleur et toutes les autres sensations autonomes, sont susceptibles d'une habituation.

D'une manière générale, l'acquisition de l'habituation telle qu'elle est représentée graphiquement ou par le calcul, présente une ressemblance frappante avec le processus d'apprentissage (LIDVALL (39) (1962).

**2 — La rétention de l'habituation** signifie qu'une stimulation adéquate ou inadéquate, induisant un nystagmus, produit des changements dans l'arc réflexe vestibulo-oculaire (MEUNIER, BELIN, POLC - 1970).
Cette habituation peut être retenue pendant des heures, des semaines et si la stimulation est assez longue, pendant des mois (McCABE (39) et ses collaborateurs — 1964 ; HOOD et PFALTZ (39) — 1954).

Ce caractère différencie nettement l'habituation des processus d'adaptation et de fatigue qui sont de courte durée. Encore une fois, elle se rapproche ainsi du processus d'apprentissage.

GROEN pense que si les stimulations rythmiques complexes qui peuvent être considérées comme un modèle déterminé de stimulation vestibulaire (pattern copy des anglo-saxons)

sont appliquées à un sujet, une copie de ce modèle est établie par le système nerveux qui va travailler contre cette stimulation. Quand cette stimulation cesse, la copie reste encore pendant des heures et même des jours dans le système nerveux central. Cette copie est assez spécifique de la stimulation qui lui a donné naissance. Les travaux de KLIGN et EK, ceux de PHILIPIZONE (39) sur le pigeon, ceux de BEKESY, en ont apporté des preuves expérimentales.

**3 — Perte de l'habituation vestibulaire ou déshabituation**

C'est le retour à des réponses normales lors des stimulations sensorielles (JOUVET, HERNANDEZ, PEON - 1957).

Elle peut survenir
— dans les périodes prolongées de repos,
— dans les changements soudains d'intensité ou de fréquence du stimulus,
— lors de l'association soudaine de stimuli concurrents,
— lors de l'anesthésie,
— lors de l'administration de drogues agissant sur le système nerveux central.

**4 — Transfert de l'habituation**

Pour MEUNIER, BELIN, POLC (1970), c'est le passage de l'habituation d'un côté à l'autre, il s'agit d'un processus en faveur d'un mécanisme central.

Pour Patrick J. DOWD et Robert L. CRAMER (22), il y a transfert si la sensation, la réponse nystagmique et somatique habituées à une rotation spécifique en direction et en sens, sont transférées dans une autre rotation de direction et de sens différents. Les travaux de ces auteurs portent sur des tests d'habituation vestibulaire par stimulation grâce à l'accélération de Coriolis. Ils réalisent, grâce à un stimulateur bi-axial, composé d'une chaise oscillante placée sur une plate-forme rotatoire, des manœuvres reproduisant une accélération de Coriolis active (par mouvements de la tête) et passive (par mouvement du stimulateur seul). Ils remarquent que le transfert n'est obtenu que pour certaines situations, chaque situation devant être réalisée séparément en dépit de leur similitude dans les sensations et dans les réponses nystagmiques :

— En ce qui concerne la durée de la sensation giratoire, de l'inclinaison passive à l'inclinaison active, dans le plan sagittal ou dans le plan frontal et vice versa, il y a un transfert bien défini qui dépend de l'ordre de présentation de chaque situation.
— En ce qui concerne la durée du nystagmus, de l'inclinaison passive à l'inclinaison active dans le plan frontal et vice versa, il y a un transfert net.
— En ce qui concerne l'index des réactions autonomes, c'est-à-dire pâleur, vertige, transpiration, malaise épigastrique, nausées et vomissements, il n'y a pas de transfert significatif.
— En ce qui concerne les caractéristiques dynamiques des réactions nystagmiques, il n'y a pas de transfert significatif.

D'autre part, R. HAHN et S. BUONGIOVANI (8) (1968) montrent que :
Il existe un certain transfert de l'habituation rotatoire à la réponse nystagmique obtenue par des stimulations caloriques. Si des stimulations thermiques froides sont alternativement appliquées à droite et à gauche, l'habituation vestibulaire apparaît avec la même fréquence et après le même nombre moyen de stimulations qu'avec des stimulations itératives d'un seul côté.

Ces auteurs font la même observation en ce qui concerne les stimulations rotatoires.

G. KAPHAN (35) et ses collaborateurs ont étudié l'influence de l'habituation thermique sur les épreuves pendulaires. L'animal utilisé pour l'expérience était le lapin, particulièrement sensible aux stimulations vestibulaires. Ces auteurs confirment, grâce à la technique des stimulations associées que le phénomène d'habituation se fait au niveau des centres. Il démontre que chez un animal habitué, ce phénomène peut modifier les réponses à des stimulations différentes de celles qui ont déclenché l'habituation dans certaines conditions qui sont la présence associée du stimulus déclenchant. Ils pensent enfin que l'étude des stimulations associées (c'est-à-dire l'étude du transfert de l'habituation) est un excellent moyen de mettre en évidence cette habituation et de la distinguer d'une aréflexie.

**5 — Différence entre l'habituation et la fatigue ou l'adaptation.**

a) Différence entre adaptation et habituation.

Pour GUEDRY, HALLPIKE et HOOD, (33) il y a adaptation si la réponse affaiblie suit une stimulation de longue durée. Elle réalise une baisse progressive de l'excitabilité des récepteurs pendant la persistance du stimulus. Elle dépend de la grandeur du stimulus. Elle ne présente pas de rétention ni de transfert. Elle est de courte durée.

Comportement de la réaction suivant la stimulation :
— en adaptation (1. temps en minutes)
— en fatigue (2. temps en heures)
— en habituation (3. temps en jours)
SINGLETON (Laryngoscope 77. 1587 (1967)

b) Différence entre habituation et fatigue.

Il y a fatigue si le temps de latence augmente. Il n'y a pas de rétention ni de transfert.

Pour HALLPIKE et HOOD, (33) les réponses affaiblies décrites dans leurs travaux sur l'habituation vestibulaire ne peuvent pas venir de la fatigue car celle-ci augmente avec les forces de stimulation, se prolonge aussi longtemps que dure l'excitation et disparaît lentement après que l'excitation ait cessé.

SINGLETON (voir aussi les travaux de LEDOUX) (39) expose clairement ses démonstrations en trois graphiques, mais une telle séparation ne peut vraisemblablement exister que schématiquement, la réalité n'en donnant pas d'entière possibilité (voir figure).

L'habituation est donc reliée au processus d'inhibition, d'extinction des réflexes conditionnés et peut être englobée dans le processus d'apprentissage.

# L'HABITUATION VESTIBULAIRE EXPERIMENTALE

## HABITUATION VESTIBULAIRE PROVOQUEE PAR DES EPREUVES CALORIQUES ITERATIVES.

Chez l'animal, l'importance de l'habituation aux stimulations caloriques varie considérablement, allant de la réduction modérée à l'extinction complète de la réponse nystagmique. L'usage de méthodes de travail différentes peut expliquer les variations entre les résultats obtenus chez un même animal (HOOD et PFAITZ - 1954, (39) KAPHAN (35) - 1970).

Chez l'homme, FORSSMAN, HENRIKSSON et DOLOWITZ (1963) (39) observent un mode de survenue de l'habituation montrant de considérables différences individuelles.

Leurs travaux révèlent aussi que la décroissance de la réponse et le taux d'habituation obtenus à partir de stimuli caloriques répétés en pleine lumière et en complète obscurité, sont identiques (FORSSMAN - 1963).

Ces résultats ne sont pas confirmés par COLLINS (1965) (15) qui ne remarque pas de différence statistiquement significative dans la durée de la phase lente si les tests sont effectués dans le noir, alors qu'en pleine lumière, le rendement de la phase lente baisse d'une manière significative après des stimulations caloriques répétées.

COLLINS en conclut que le changement dans la réponse vestibulaire survenant en résultat à des stimulations répétées, devrait être évalué en terme de «niveau d'éveil».

PFALTZ et VON ARX (1967) rapportent qu'il n'y a de décroissance significative de la réponse vestibulaire qui si les deux labyrinthes sont stimulés simultanément par des irrigations chaudes ou froides, d'une manière équivalente (par ex. : 44° à droite, 30° à gauche et vice versa).

Dans leur rapport de 1970, PFALTZ et PIFKO (43) démontrent, grâce à leurs travaux réalisés dans l'obscurité mais avec une fixation visuelle, que l'acquisition et la rétention de l'habituation dépendent apparemment de l'intensité du stimulus mais qu'en réalité, elles dépendent de son application binaurale et de la fixation visuelle.

L'évaluation de la réponse nystagmique et la mise en évidence d'une décroissance significative de la réponse, dépendent des paramètres qui sont utilisés pour déterminer l'intensité du nystagmus vestibulaire : vitesse angulaire, amplitude et fréquence maximale ; amplitude totale ; nombre total des secousses, durée.

Selon PFALTZ et PIFKO, la durée du nystagmus calorique ne semble pas être un paramètre sûr. Il n'en est pas de même pour l'amplitude maximale et la fréquence maximale, toutes deux facteurs déterminant la vitesse angulaire de la phase lente qui peuvent être considérées comme des paramètres valables.

Leurs résultats font apparaître une nette décroissance de la réponse avec rétention de six mois si le nystagmus est évalué grâce à l'amplitude maximale. La fréquence maximale ne montre pas du tout de décroissance.

Si l'habituation vestibulaire est exprimée en terme de décroissance de la réponse, c'est la décroissance de l'amplitude du nystagmus et non celle de la fréquence qui doit être prise en considération dans la survenue de ce phénomène.

D'autre part, la répétition de stimulations caloriques équivalentes, modifie le schéma des réponses habituelles aux épreuves caloriques et rotatoires, dans le sens de l'installation d'une prépondérance directionnelle qu'on ne peut obtenir par la répétition des épreuves pendulaires puisque celles-ci excitent les deux labyrinthes.

Cette modification de l'allure habituelle de la réponse est due à une décroissance marquée, affectant exclusivement le nystagmus induit par une stimulation calorique unidirectionnelle et répétée. Cette prépondérance directionnelle qui s'ensuit peut être considérée comme étant l'expression d'une habitation unidirectionnelle du système vestibulaire.

Un tel type de stimulation modifiant l'allure de la réponse pendulaire mène donc à un phénomène de transfert de l'habituation.

## L'HABITUATION VESTIBULAIRE PROVOQUEE PAR DES STIMULI ROTATOIRES ITERATIFS.

La décroissance de la réponse du vestibule soumis à des stimulations rotatoires répétées a été observée chez l'homme par bien des auteurs depuis plus de 50 ans (GRIFFITH - 1920, DODGE - 1923, DUNLAP - 1926, HOOD et PFALTZ - 1954, ASCHAN - 1954, McCABE - 1960, COLLINS et GUEDRY - 1962, 1968).

De nombreuses expériences utilisant des tests rotatoires ont été aussi réalisés chez l'animal : rat, pigeon, lapin, chat (travaux de COLLINS) (16, 17).

Les stimulations rotatoires constituant un excitant physiologique pour le vestibule sont fréquemment choisies dans les études sur l'habituation vestibulaire.

Leurs modes d'utilisation, sont extrêmement variés ainsi que les moyens technologiques utilisés, les procédés de mesure, d'enregistrement et tout ceci rend complexe toute tentative de synthèse de ces travaux.

L'objet des mesures (nystagmus per-rotatoire, nystagmus post-rotatoire, sensation giratoire, réactions autonomes) varie aussi selon les auteurs.

Il est difficile, en particulier, de préciser si la variété des conditions d'expérimentation est à l'origine des différences mises en évidence dans les résultats rapportés par les expérimentateurs.

Nous ne rapporterons ici que quelques exemples retraçant divers épisodes de cette situation complexe.

**1 — L'habituation du nystagmus post-rotatoire.**

GRIFFITH, (48) en 1920, utilisait une technique «yeux ouverts» avec un expérimentateur comptant et enregistrant le nombre de réponses nystagmiques. Une accélération menant à la vitesse de 180° par seconde était appliquée en une seconde. Après un arrêt progressif, les réponses post-rotatoires étaient enregistrées. Les conclusions suivantes en furent tirées :

«Au fur et à mesure de la répétition des rotations, de jour en jour, la durée du nystagmus post-rotatoire, le nombre des mouvements oculaires et la durée du mouvement apparent, décroissaient rapidement».

La partie la plus grande de cette décroissance se produisait dans les tous premiers jours. Elle ne se produisait pas seulement d'un jour à l'autre, mais aussi au cours d'une période de dix essais réalisés le jour même.

L'amplitude des mouvements oculaires et le nombre de secousses par seconde décroissaient aussi alors que le nombre des répétitions croissait. L'auteur ajoutait enfin que «la durée du nystagmus change avec la vitesse de rotation, avec le nombre de révolutions et qu'elle est augmentée lorsque le siège est arrêté brutalement».

DODGE (48) (1923) utilisait une technique «yeux fermés». Pour enregistrer le nystagmus, il filmait l'image des mouvements oculaires, dissimulés derrière les paupières closes, réfléchie sur un miroir. Les résultats montrèrent que l'amplitude du nystagmus post-rotatoire décroissait de jour en jour au cours de l'expérimentation. L'amplitude manifestait aussi une tendance à la décroissance d'un enregistrement à l'autre, au cours de la journée durant laquelle se déroulait l'expérience.

BRAND (4) (1968) utilisant une technique à «yeux fermés» pour l'enregistrement électronystagmographique des réponses nystagmiques, exposait ses sujets à des degrés variables d'accélération angulaire allant de 7,5° par sec 2 à 60° par sec 2 selon un ordre variable. Utilisant comme critère la vitesse angulaire de la phase lente du nystagmus post-rotatoire, il fut à même de démontrer que l'habituation apparaîssait dans les trois premiers des neuf jours consécutifs d'expérience, de la même manière que la sensation rotatoire décroissait.

TOROK (48) (1969) utilisait une technique standardisée de photoélectronystagmographie («PENG», NYKIEL et TOROK - 1963) avec des lunettes posées devant les yeux ouverts dans l'obscurité.

Des stimulations faibles (45° par sec. de vitesse finale, suivie par un arrêt brutal) et plus fortes (90° par sec. suivie par un arrêt brutal) furent administrées.

Une comparaison des deux paramètres des réponses nystagmiques, le compte de la fréquence et la vitesse de la phase lente furent examinés. Il apparut que le premier de ces paramètres était le meilleur des deux en ce qui concerne l'appréciation de l'intensité du nystagmus. D'autre part, les résultats obtenus n'indiquaient pas la présence d'un signe d'habituation et même, un accroissement de l'intensité des réponses fut mis en évidence, au fur et à mesure des répétitions chez lesdits sujets.

D.D. JOHNSON et N. TOROK (1970) utilisèrent à nouveau la technique PENG et soumirent leurs sujets à des rotations anti-horaires répétées selon le schéma suivant :

— accélération angulaire de 2,5° par sec 2 jusqu'à une vitesse de 180° par seconde, maintenue jusqu'à ce que tout nystagmus d'accélération ait disparu.
— l'intensité du nystagmus était établie à partir de la fréquence de la phase rapide.
— des instructions spéciales de vigilance avaient été données au sujet.

Les résultats ont montré que l'habituation ne survenait pas lors de stimulations répétées, que l'intensité croissait d'un essai à l'autre durant toute la réponse post-rotatoire du nystagmus.

Ce phénomène de l'accroissement de la réponse existait entre les essais chez tous les sujets pendant tous les jours d'expérience.

Il faut donc noter que, sous certaines conditions pré-déterminées, il est possible d'éliminer les effets de la décroissance de la réponse du nystagmus post-rotatoire lors des stimulations rotatoires répétées.

Ceci présente un intérêt clinique évident car dans certaines situations, il peut être nécessaire de répéter certaines procédures d'examen.

**2 — Habituation du nystagmus per-rotatoire.**

BROWN et CRAMPTON (48) (1965) trouvèrent une décroissance hautement significative de la réponse vestibulaire à des stimulations rotatoires bi-directionnelles répétées. Il ne leur semblait pas d'autre part que les conditions visuelles puissent altérer l'habituation.

ASCHAN (2) (1967) observait que le déclin de la réponse n'était significatif que pour le cupulogramme de sensation et non pas pour les paramètres de nystagmus.

COLLINS (16) (1966) démontrait dans son étude que les patineurs apprenaient à exercer un contrôle visuel sur leurs réactions vestibulaires.

PFAITZ et PIFKO (43) (1970) mentionnent que l'habituation du système vestibulaire peut être obtenue par la répétition d'un stimulus physiologique et non physiologique de l'organe vestibulaire périphérique mais seulement si la fixation oculaire et l'application biauriculaire des stimuli sont observées. Ils pensent que la vigilance et l'éveil sont probablement des facteurs jouant un rôle de première importance dans la survenue de l'habituation. Il faut remarquer qu'on ne peut obtenir une habituation unidirectionnelle à partir de stimulus rotatoire, ce type d'excitation stimulant simultanément les deux vestibules.

GREINER, CONRAUX, MAITRE, COLLARD, THIEBAUT (27) (1970) réalisant chez des sujets normaux des stimulations sinusoïdales prolongées et répétées sous surveillance électroencéphalographique de l'état d'éveil, avec enregistrement électronystagmographique, les yeux ouverts dans l'obscurité et sous des lunettes opaques, ont montré qu'il n'existait pas de déclin significatif de la réponse du nystagmus per-rotatoire.

Deux épreuves pendulaires amorties faites successivement à deux minutes d'intervalle, chez le sujet normal, leur ont permis de montrer que la réflectivité supraliminaire appréciée par la valeur de la pente de la phase lente, reste remarquablement constante.

Une étude de l'habituation au cours de stimulations rotatoires combinées leur a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait pas de transfert de l'habituation obtenue par les épreuves giratoires aux stimulations pendulaires mais qu'au contraire, tout se passait comme si l'épreuve pendulaire (stimulus très physiologique) avait «deshabitué» l'appareil vestibulaire.

Ils faisaient donc remarquer que tous les sujets normaux qui avaient été soumis à des stimulations pendulaires répétées ou de longue durée n'avaient pas montré de modification sensible de la réponse nystagmique. Ils démontraient ainsi que contrairement aux autres méthodes de stimulation vestibulaire, les épreuves pendulaires répétées n'entraînaient pas d'habituation chez le sujet normal.

Il leur semblait enfin que «seule une excitation d'intensité anormale ou une stimulation mettant en jeu des facteurs extra-vestibulaires, peut, chez le sujet normal, créer une habituation».

**3 — Habituation de la sensation de mouvement induite par la stimulation rotatoire.**

Bien des chercheurs (GRIFFITH - 1920, VAN EGMOND et ses collaborateurs - 1948, HALLPIKE et HOOD - 1953, ENRIKSSON et ses collaborateurs - 1961, ASCHAN et ses collaborateurs - 1956, FORSSMAN - 1963) ont étudié la perception de mouvement qui survient pendant et après une stimulation calorique. Ce phénomène est souvent décrit comme un déséquilibre, une sensation giratoire, une sensation de mouvement.

Dans son étude sur «les sensations giratoires post-rotatoires», BRAND en 1968 fit apparaître qu'il y avait «une preuve tout à fait claire d'une décroissance de la réponse, probablement attribuable à des processus d'habituation qui sont en rapport avec la tolérance qui se développe lors de l'exposition répétée à d'autres formes de stimulation labyrinthique non habituelles».

GUEDRY (48) (1965) pensait que l'on doive limiter la notion de décroissance de la réponse aux stimulations sensorielles inhabituelles et anti-synergiques occasionnées par les mouvements de la tête se produisant durant la rotation du corps. Il ajoutait que «pour les chats, la décroissance de la réponse pouvait être spécifique de la direction de la réponse provoquée de manière répétée durant l'installation de l'habituation».

BENSON (48) et ses collaborateurs (1966) déclarèrent que leurs travaux démontraient sans équivoque que la durée de la sensation post-rotatoire rapportée par les sujets soumis à une accélération angulaire brutale, était influencée par les instructions qu'ils avaient reçues. Ils mentionnèrent ainsi le fait que des instructions fortes puissent accroître la durée de la sensation post-rotatoire, éliminant donc les effets d'une décroissance de la réponse, alors que des instructions faibles permettent l'apparition de l'habituation.

TOROK (1969) avait noté cet état «d'alerte mentale détendue» à propos de l'élimination de l'habituation de la réponse nystagmique. Il faisait remarquer que cet état d'attention détendue pouvait être éveillé simplement en donnant au sujet l'instruction de «garder les yeux ouverts en position médiane et d'éviter, autant que possible, de cligner des paupières».

On doit donc noter que, dans certaines conditions expérimentales, quelques auteurs ont trouvé qu'il était possible d'éliminer la décroissance de la sensation de mouvement post-rotatoire.

D.D. JOHNSON et N. TOROK en 1970, ajoutèrent à l'étude de l'habituation du nystagmus post-rotatoire (voir plus haut) l'étude de l'habituation de la sensation de mouvement induite par la rotation, en utilisant la même méthode de stimulation. Ils firent apparaître que la durée de la sensation subjective de mouvement post-rotatoire ne montre pas de décroissance de la réponse systématique, mais une grande variabilité selon le sujet considéré.

**4 — Examen des différents facteurs semblant intervenir dans la survenue ou dans l'absence d'habituation.**

Dans le but d'expliquer les conditions nécessaires pour provoquer l'augmentation de la réponse du nystagmus lors de stimulations rotatoires répétées, aboutissement de leur étude, JOHNSON et TOROK ont été amenés à examiner les conditions suivantes qui sont toutes susceptibles, bien entendu, d'intervenir aussi dans l'apparition d'une habituation vestibulaire.

a) Conditions oculaires

L'augmentation de la réponse pourrait-elle survenir dans toutes les conditions : yeux ouverts ou fermés ?

BRAND (1968), démontre que l'habituation survient lorsque la technique «yeux fermés» est utilisée en conjonction avec la technique électronystagmographique d'enregistrement de la réponse post-rotatoire du nystagmus.

GRIFFITH (1920) démontre la présence de l'habituation de la réponse nystagmique avec une technique «yeux ouverts» dans un environnement éclairé avec un expérimentateur comptant le nombre des réponses nystagmiques.

A la suite des résultats des travaux de TOROK (1969-1970), avec l'utilisation du système PENG, il paraît essentiel de déterminer si l'augmentation de la réponse du nystagmus peut survenir dans d'autres conditions oculaires.

b) Techniques d'instruction.

La méthode des instructions «fortes» est-elle nécessaire pour provoquer une augmentation de la réponse ?

BENSON et ses collaborateurs (1966) ont montré que la décroissance du nystagmus post-rotatoire était prolongée par l'effet d'instructions fortes.

JOHNSON et TOROK ont donné, dans leur étude des instructions plus «fortes» peut être en demandant à leurs sujets d'observer et d'indiquer la durée de leurs sensations post-rotatoires (1970).

TOROK (1969) a montré que de simples instructions comme celle de garder les yeux ouverts en regardant droit devant, sans cligner des paupières, pendant la durée de l'expérience, contenait suffisamment de force pour prévenir l'habituation.

Dans une autre étude sur les effets de l'éveil sur le nystagmus vestibulaire (1970), TOROK déclare encore qu'une attention détendue comme celle de suivre les instructions, de se laisser aller au confort, de garder les yeux ouverts, a un effet aussi régulateur sur les réponses évoquées que le calcul mental.

c) Le type de stimulation.

Comment varie la réponse du nystagmus post-rotatoire selon les méthodes et les protocoles de stimulations employés ?

BRAND (1968) a démontré la survenue de l'habitation vestibulaire en conjonction avec plusieurs vitesses d'accélération.

BENSON et ses collaborateurs (1966) ont montré que la direction de rotation n'avait apparemment pas d'effet sur le nystagmus post-rotatoire mesuré à partir de la vitesse angulaire de la phase lente.

ENRIKSSON et ses collaborateurs (1961) ont démontré les effets de l'habituation sur la réponse du nystagmus induit par stimulation calorique.

Etant donnés les résultats obtenus par JOHNSON et TOROK, il serait utile de démontrer la survenue de l'absence de l'augmentation de la réponse au cours de conditions de stimulation différentes en utilisant la technique PENG.

d) L'évaluation des données.

L'augmentation de la réponse a été mise en évidence en utilisant la fréquence de la phase rapide du nystagmus comme mesure de grandeur.

HOOD et PFALTZ (1957) ont noté l'absence de décroissance de la réponse chez l'homme à la suite d'excitations caloriques si l'on utilisait la fréquence ou la durée du nystagmus comme mesure de l'intensité de la réponse (voir plus haut).

BRAND (1968) utilisa la mesure de la vitesse angulaire de la phase lente du nystagmus pour démontrer la présence de l'habituation de la réponse post-rotaroire du nystagmus.

Bien que TOROK (1969) ait démontré que le compte de la fréquence constitue une mesure d'intensité de la réponse, une étude ultérieure devrait tenter de déterminer si oui ou non la vitesse angulaire de la phase lente montre le même type d'accroissement de la réponse que le compte de la fréquence du nystagmus le montre dans l'étude de JOHNSON et TOROK.

e) L'état d'esprit pré-établi.

L'augmentation de la réponse post-rotatoire du nystagmus pourrait dépendre de l'état d'esprit avec lequel le sujet entre en contact pour la première fois avec les circonstances de l'expérience. Il se pourrait que le sujet entre dans l'expérience avec un état inhibitoire pré-établi doué d'une certaine action sur la réponse. Des stimulations répétées sans aspect nocif pourraient servir à lever l'anxiété et donc permettre l'enregistrement de réponses telles que l'augmentation du nystagmus post-rotatoire.

## L'HABITUATION : PHENOMENE A MECANISME CENTRAL

Après avoir passé en revue tous ces travaux et en particulier les différentes circonstances présidant à l'apparition de l'habituation et bien qu'il semble difficile de le démontrer formellement, il apparaît qu'un mécanisme central soit à l'origine de la décroissance de la réponse vestibulaire.

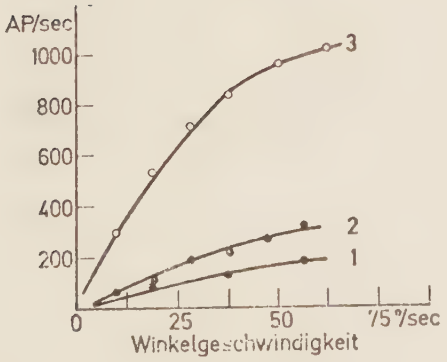
Nous sommmes donc en présence d'un phénomène dans lequel les informations sensorielles qui correspondent à un modèle établi, perdent de leur valeur, ne sont plus perçues consciemment et donnent moins de motif à réflexe. Des stimulations nouvelles ou incohérentes le brisent et ramènent le seuil des réflexes et de la conscience à un niveau normal. Dans ce phénomène complexe entrent en jeu la pratique, l'apprentissage, la compensation des organes altérés, le choix des stimulations. Ce phénomène est sélectif et dépend en grande partie de la situation qui l'a provoqué. Mais il présente un caractère de transfert qui pour certains, entre dans le cadre des mécanismes neuronals synaptiques.

Il est en partie influencé par la suggestion, l'état de veille, la fixation oculaire (travaux de COLLINS (16) sur les réponses vestibulaires des patineurs sur glace, travaux de OSTERHAMMEL (42) sur l'habituation vestibulaire chez les danseurs de ballets).

Les stimuli inhabituels sont capables de donner naissance à l'habituation vestibulaire (derviches tourneurs, patineurs, danseurs, astronautes, aviateurs), mais aussi les mouvements normaux quotidiens ainsi que GROEN (6) l'a démontré :

> «Chez les nouveaux-nés (hommes et animaux) dans les premiers jours de la vie, l'excitation des canaux semi-circulaires donnent dans le cupulogramme une réponse tout à fait différente de celle des adultes : le cupulogramme est beaucoup plus abrupt et les réactions nystagmiques suivent les prévisions physiques de l'équation cupulo-endolymphatique ; la pente du cupulogramme est identique pour la sensation et le nystagmus.
> Dans les semaines qui suivent la naissance, cette valeur devient plus petite et chez l'adulte, les courbes de sensation et de nystgmus sont différentes».

Dans ses travaux sur la grenouille, GOETMAKERS (24) (1970) a mis en évidence le rôle du système nerveux central :




Fréquence du potentiel d'action
en fonction de l'intensité de la stimulation :

1. après entière adaptation
2. au début de l'expérience
3. sans blocage central (mort)

(in GOETMAKERS : Vestibular adaptation in Rana 24)

«La stimulation pendulaire conduit à une habituation chez la grenouille et même en situation de non-excitabilité, il existe une accommodation : chez les animaux en vie, pendant une stimulation pendulaire constante, la réaction à l'excitation est plus faible qu'au début de la stimulation. Après la mort de l'animal, les réactions à la stimulation sont beaucoup plus grandes qu'avant la stimulation alors que l'animal était encore en vie (voir figure)».

A titre de tentative d'explication, GOETMAKERS pense que la mort du système nerveux central s'établit beaucoup plus vite que la mort de l'organe périphérique. Le blocage central est alors levé et la stimulation périphérique n'est plus contrariée.

Tentant d'expliquer pourquoi, lors de stimulations caloriques répétées (voir plus haut), il n'y avait pas de déclin de la réponse concernant la fréquence du nystagmus alors qu'il y en avait un si l'on considérait l'amplitude, PFALTZ et PIFKO soulèvent l'hypothèse de l'existence de deux centres vestibulaires indépendants. L'un contrôlerait la grandeur de l'amplitude du nystagmus, l'autre le taux de la fréquence du nystagmus. Ils pensent aussi qu'un mécanisme efférent de feed back, originaire de la formation réticulée, pourrait être responsable de ce phénomène.

Enfin, l'action des drogues neurotropes sur l'habituation vestibulaire a été largement mise en évidence (8 - 34 - 42).

Les substances utilisées étaient :

— des dépresseurs agissant sur le cortex ou la substance réticulée.
— des activateurs agissant sur le cortex et la substance réticulée.
— des antidépresseurs, des imipraminiques.

Les drogues agissant au niveau cortical seulement ne donnent pas de modification de l'habituation.

Celles agissant sur les rapports entre le cortex et la substance réticulée engendrent une disparition de l'habituation (action activatrice avec apparition de phénomènes de réveil, analogues à l'action de stimuli d'un type différent de celui auquel le sujet est habitué).

Au niveau de la substance réticulée seule, certaines substances dépressives abaissent encore les valeurs du nystagmus déjà affaibli par l'habituation (action inhibitrice sur les afférences arrivant à la substance réticulée).

Au niveau thalamomésencéphalique, certaines substances engendrent la disparition de l'habituation (abolition de l'activité des structures à l'origine de l'habitude).

Tout ceci montre bien que le lieu principal de filtrage de stimuli répétés et devenus habituels, semble être la substance réticulée, que le mécanisme d'habituation vestibulaire n'est pas seulement lié à une action purement corticale ou réticulaire mais plutôt conditionné par les rapports entre les structures corticales et l'activité de la substance réticulée.

De nombreuses études neuro-physiologiques et neuro-anatomiques sur les mécanismes d'inhibition et d'habituation ont pu apporter encore des précisions supplémentaires.

## LE SUBSTRATUM ANATOMIQUE DE L'HABITUATION VESTIBULAIRE

Les réponses nystagmiques vestibulaires sont modulées par de nombreuses formations subcorticales et corticales.

En ce qui concerne la facilitation et l'inhibition de ces réponses, le rôle de la formation réticulée a été largement mis en évidence depuis longtemps déjà (PAPEZ - 1926, LORENTE DE NO - 1933, BUCHANAN - 1937, BRODAL - 1964, GERNANDT et THULIN - 1952 et surtout : DUENSING et SCHAEFFER - 1957, BIZZI, POMPEIANO et SOMOGY - 1964 et YULES - 1966) (39).

Tous ces travaux montrent que la formation réticulée semble constituer un relais fondamental sur l'arc réflexe vestibulaire, réorganisant et modifiant les impulsions afférentes provenant des deux labyrinthes en schéma d'excitation ou d'inhibition influençant les motoneurones.

YULES a pu démontrer, grâce à des excitations localisées que la subdivision mésencéphalique de la substance réticulée telle qu'il l'a mise en évidence en analysant en même temps la réponse à l'excitation des noyaux de DEITERS, s'accordait bien avec la division classique en substance réticulée inhibitrice et substance réticulée facilitatrice.

Citons également les travaux d'ITO (1965) qui a mis en évidence le rôle inhibiteur du vermis cérébelleux sur l'activité réflexe du noyau de DEITERS.

Les travaux de MONTANDON et MONNIER (1964), LACHMAN, BERGMANN et MONNIER (1957) ont attiré l'attention sur le rôle du di-encéphale et ceux de FITZGERALD et HALLPIKE en 1942, CARMICHAEL DIX et HALLPIKE en 1954, ARSLAN et MOLINARI en 1965, ont attiré l'attention sur le rôle du cortex temporal postérieur.

Il est évident que le processus d'inhibition tel qu'il est mis au jour dans tous ces travaux est d'une grande importance en ce qui concerne la recherche du substratum anatomique de l'habituation.

En ce qui concerne les tentatives de localisation anatomique du processus d'habituation en lui-même chez l'animal, il faut noter que :

- l'habituation n'est pas supprimée par la décortication (FERNANDEZ et SCHMIDT - 1963, HERNANDEZ PEON et BRUST CARMONA - 1961)
- l'habituation n'est pas supprimée par une destruction du mésencéphale (HERNANDEZ PEON et BRUST CARMONA 1961).
- l'habituation n'est pas supprimée chez l'animal spinal (PROSSER et HUNTER - 1936).
- l'habituation est supprimée par des destructions sélectives de certaines parties du cerveau : formation réticulée mésencéphalique, toit du pont de la protubérance, noyau vestibulaire (supérieur et latéral).

Mais si on stimule ces mêmes formations (formation réticulée mésencéphalique, toit de la protubérance), on obtient une facilitation et une réduction des potentiels évoqués sur le nerf acoustique. D'autre part, la stimulation du faisceau olivo-cochléaire réduit les potentiels évoqués dans le nerf acoustique.

La destruction des noyaux vestibulaires engendre une dégénérescence de certaines fibres que l'on retrouve dans le faisceau longitudinal médian, dans le cervelet et même dans le nerf acoustique.

Il est donc permis de supposer qu'il existe un contrôle central à effet centrifuge agissant sur les formations vestibulaires périphériques correspondantes, semblable à celui qui s'exerce sur le bulbe olfactif, la rétine, les faisceaux neuro-musculaires.

Des fibres centrifuges se terminant au niveau des récepteurs périphériques ont été mises en évidence par CAJAL (1904) LORENTE DE NO (1933), BRODAL (1957), WERSALL (1967). SALA, en 1965 a pu mettre en évidence un système de fibres efférentes se terminant dans le labyrinthe, ayant une forte activité inhibitrice ipsilatérale et contro-latérale, après une longue latence, dépendant de l'excitabilité des récepteurs. GRIBENSKI, (29), en 1970, chez la grenouille, a également montré la présence d'un tel système vestibulaire efférent qui pourrait permettre le contrôle et la régulation des messages provenant des canaux semi-circulaires et des organes otolithiques.

Il se pourrait donc en ce qui nous concerne, qu'un tel système d'innervation efférente du vestibule joue un rôle dans l'habituation vestibulaire. (FLUUR et MENDEL - 1962, (63), (64), McCABE et GILLINGHAM - 1966) (39).

## L'HABITUATION VESTIBULAIRE CHEZ LE PERSONNEL NAVIGANT

L'habituation à une stimulation vestibulaire inhabituelle a été reconsidérée comme un chapitre d'une particulière importance depuis l'avènement de l'ère de l'utilisation d'avions à hautes performances et de l'exploration spatiale.

En effet, les manœuvres inhabituelles au cours du vol de certains avions ou véhicules spatiaux, inaugurent des stimulations vestibulaires qui sont parfois nocives pour le personnel navigant.

Dans ces circonstances, c'est souvent le pilote qui provoque le stimulus selon sa propre volonté, par exemple par un mouvement nécessaire de la tête au cours d'une accélération angulaire se déroulant dans un plan différent (force de Coriolis). Il peut être aussi la victime de la résultante d'accélérations surajoutées, se déroulant dans les plans différents (voir plus bas l'accident de Gemini 8).

Enfin, toutes ces stimulations vestibulaires nocives, des plus simples aux plus complexes, sont susceptibles de se dérouler en apesanteur, au cours de vols spatiaux par exemple.

Le sujet soumis à de tels stimuli peut-il développer à leur encontre une habituation qui lui permettrait de mieux les supporter, voire même de les ignorer, au fur et à mesure de l'acquisition de son expérience du vol ? Est-il possible de préparer un sujet à la confrontation avec de telles stimulations alors que l'expérience du vol elle-même est réduite ?

Enfin est-il possible, lors de l'examen d'un candidat au vol en avion ou au voyage spatial, de dire si celui-ci présente d'emblée une aptitude médiocre, correcte ou exceptionnelle à tolérer les stimuli vestibulaires réputés incapacitants. Cette appréciation est-elle possible avant toute expérience de vol ou tout entraînement vestibulaire ?

Telles sont trois des questions les plus importantes auxquelles de nombreux travaux se sont efforcés de répondre.

GUEDRY, (31) en 1965, grâce à une étude réalisée dans des cabines rotatives, simulant au sol une station spatiale a pu clairement mettre en évidence qu'il existait chez plusieurs de ses sujets «une certaine capacité à s'habituer à cet environnement» et que «durant une exposition prolongée, la plupart des sujets ont signalé que des sensations inopportunes, le nystagmus, les nausées et les vertiges, s'affaiblissaient fortement ou disparaissaient».

GUEDRY, dans ces circonstances, a pu mettre en évidence un nystagmus et des réactions compensatoires annulant le nystagmus et les réactions inopportunes apparaîssant lorsque la cabine était en rotation. Il a également montré que ces phénomènes de compensation présentaient des caractères de transfert et de rétention (plusieurs semaines).

Des études comparant les réactions de pilotes et de sujets n'ayant pas l'expérience du vol, soumis à des stimulations vestibulaires, ont permis de mettre en évidence des différences qu'il faut rattacher à l'installation d'une habituation vestibulaire. En ce qui concerne la perception de l'accélération angulaire ou la perception du mouvement apparent associé à l'accélération de Coriolis, il semble bien qu'il n'existe pas de différence entre les pilotes et

les sujets n'ayant pas d'expérience du vol (BRANT - CLARK (5) - synthèse de 21 études portant sur ces données).

Mais en ce qui concerne les réponses subjectives et le taux de décroissance du nystagmus en réponse à des accélérations de Coriolis, P.J. DOWD et ses collaborateurs ont pu clairement démontrer qu'il existait des différences significatives entre ces deux groupes de sujets examinés et que l'expérience du vol ou de l'entraînement au vol étaient à la base de telles différences.

En 1963, analysant les cupulogrammes de sensation et de nystagmus de pilotes néophytes et chevronnés, BORDES, BEAUCHAMP et ROBERT (7) estimèrent avoir mis en évidence un processus d'habituation vestibulaire qu'ils qualifièrent d'«adaptation».

Ce processus se déroulait en deux phases :

— une phase primaire (pilotes élèves) où le cupulogramme de sensation est seul modifié,
— une phase secondaire (pilotes chevronnés) où les deux cupulogrammes sont modifiés.

Ils analysèrent également le phénomène de perte de l'habituation (syndrome «psycho-labyrinthique») mettant en évidence sa brutalité d'apparition ainsi que le rôle des traumatismes psychiques et psycho-affectifs.

Dans leur étude sur l'habituation vestibulaire des pilotes et du personnel navigant, en fonction de leur entraînement et de leur expérience, P. PIALOUX (44) et ses collaborateurs ont mis en évidence, par des épreuves pendulaires pratiquées chez les pilotes, une tendance à l'égalisation de la fréquence totale du nystagmus horizontal droit et gauche et même très souvent, la survenue de l'inversion de la prépondérance des secousses gauches sur les secousses droites. Ceci est l'inverse de ce qui est constaté chez le sujet normal n'ayant pas l'habitude du vol. Dans ce cas, la fréquence totale du nystagmus gauche est habituellement supérieure à celle du nystagmus droit, si l'on soumet le sujet à une épreuve pendulaire dont la première oscillation se fait dans le sens anti-horaire. P. PIALOUX pense que cette modification est essentiellement liée au pilotage et il constate qu'elle s'établit rapidement et semble rester permanente. Un tel phénomène présenterait donc le caractère d'une manifestation de l'habituation.

En ce qui concerne l'utilité de l'entraînement et sa relation directe avec l'amélioration de la tolérance vestibulaire, plusieurs points de vue ont été envisagés :

— Lutte contre les effets du séjour en apesanteur :

  E.M. YUGANOFF (48) et ses collaborateurs ont montré que la tolérance vestibulaire des membres de l'équipage du vaisseau spatial Voskhod, durant un séjour de 24 heures en apesanteur, s'était trouvée être différente d'un sujet à l'autre : elle était grande dans le cas de KOMAROV et plus faible dans le cas de EGOROFF et de FEOKSTITOV.

  Ces différences dans la tolérance sont en liaison avec les différences entre les sensibilités initiales de l'appareil vestibulaire de ces sujets et entre les différentes durées de leur entraînement vestibulaire qui était suffisamment long pour KOMAROV et plus court pour les deux autres.

  Ces auteurs pensent en outre que les méthodes d'exploitation et de stimulation vestibulaire utilisées actuellement au sol, rendent possible, dans une grande mesure, la prévention de la survenue de troubles vestibulaires au cours du vol.

– Lutte contre les effets incapacitants des accélérations angulaires et des forces de Coriolis :

VERNON L. GROSE (30), prenant pour contexte de discussion l'alerte survenue lors du vol de la capsule Gemini 8, a étudié les limites physiologiques de l'être humain et sa disposition à l'erreur lorsqu'il est soumis à une accélération prolongée en roulis dans un véhicule spatial.

Il a individualisé cinq effets nocifs attribués à cette stimulation, à la base des troubles oculo-vestibulaires engendrant chez les pilotes une altération importante dans le programme de réalisation de leurs tâches : la désorientation spatiale, le vertige, l'altération de la vision, les nausées, la panique.

Il en concluait qu'une sélection, un entraînement plus rigoureux des astronautes, ainsi que certaines modifications technologiques pourraient minimiser les effets nocifs de cette accélération complexe.

Tirant les enseignements du succès d'une méthode de tests de stimulation auto-provoquée en accélération de Coriolis, utilisée sur un élève-pilote atteint du mal des transports, P.J. DOWD (23), pense que l'utilisation d'un tel type de méthode devrait être étendu.

Il estime que ce moyen pourrait être utilisé pour tester la sensibilité vestibulaire des candidats aux Écoles de l'Air et pour suivre les progrès de leur habituation au cours de leur entraînement. Il pense enfin que cette méthode pourrait permettre de récupérer les quelques 5 % d'élèves-pilotes qui sont éliminés à cause du mal de transports.

## RESUME DE NOS RESULTATS EXPERIMENTAUX

Prolongeant les travaux de P. PIALOUX et de ses collaborateurs, l'étude que nous avons réalisée porte sur quatre groupes de personnel navigants différents de par leur formation et leur activité professionnelle :

- un groupe de 27 pilotes confirmés, formés à l'Ecole de l'Air, en activité dans l'Armée de l'Air française, servant dans la chasse ou dans le transport.
- un groupe de 12 pilotes de ligne confirmés, formés à l'Ecole de l'Air ou à l'Ecole Nationale d'Aviation Civile, en activité dans les grandes compagnies civiles.
- un groupe de 8 navigants non pilotes : navigateurs, radio-navigateurs et mécaniciens d'équipage dont quelques-uns sont des pilotes d'aéro-club.
- un petit groupe de trois pilotes professionnels formés dans les aéro-clubs au cours de stages officiels.

Tous ces sujets avaient plus de 2 000 heures de vol, les âges s'étalaient de 27 à 50 ans, aucun d'entre eux ne présentait de signes cliniques vestibulaires spontanés, les troubles cochléaires avaient été relevés pour chaque sujet.

Tous ont été soumis, au cours de leur visite d'aptitude, à une épreuve pendulaire amortie dont la première oscillation était exécutée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. L'amortissement se faisait en 20 périodes, la constante d'enregistrement était de 0,3, la vitesse de déroulement de la bande d'enregistrement était de 15 mm/sec., la déviation de la plume était d'un centimètre pour un angle de 10°.

Les électrodes étaient disposées de la manière suivante :

- le mouvement horizontal était enregistré entre deux électrodes temporales droite et gauche.
- deux électrodes situées dans un plan sagittal passant par la pupille de l'œil droit, placées dans le regard direct, en position sus et sous-orbitaires, enregistraient le mouvement vertical.

On a mesuré les paramètres suivants :

- fréquence du nystagmus droit et gauche au cours de différentes périodes d'un même tracé,
- fréquence totale du nystagmus droit et gauche et rapport fréquence totale du nystagmus gauche/fréquence totale du nystagmus droit :

$$R = \Sigma N \frac{G}{D}$$

### RESULTATS

Les quatre groupes de sujets précédemment décrits entrent dans le cadre de ce qu'il est convenu d'appeler le personnel navigant technique (PNT).

Nous comparerons les résultats obtenus lors des tests effectués chez ces PNT et ceux obtenus chez le personnel navigant commercial (PNC), composé de stewards et d'hôtesses ainsi que ceux obtenus chez les élèves pilotes.

A - **PNT** (plus de 2 000 heures de vol)

1) Fréquence totale du nystagmus :

Les calculs effectués montrent que la fréquence totale des secousses droites devient égale à celle des secousses gauches et le plus souvent la dépasse :

Groupe 1 — Sur 27 sujets, 22 d'entre eux présentaient un rapport fréquence des secousses gauches/fréquence des secousses droites inférieur, égal ou très voisin de 1, soit 85 %. L'analyse des 5 cas restants, dont le rapport $\Sigma NG/\Sigma ND$ est supérieur à 1, montre :
- un cas de non-coopération à l'examen,
- un cas de nystagmus spontané gauche, non renforcé dans le regard vers la gauche pour lequel se pose une éventuelle origine oculo-motrice,
- un cas avec tracé pathologique : nystagmus de grande amplitude, dysrythmie, fréquence faible à l'épreuve calorique,
- un cas de nystagmus spontané gauche sans caractère particulier,
- un cas de nystagmus spontané bilatéral prédominant à gauche, d'origine probablement oculo-motrice.

Groupe 2 — Sur les 12 sujets, 10 présentaient un rapport $\Sigma NG/\Sigma ND$ inférieur, égal ou très voisin de 1.

Groupe 3 — Sur 8 sujets, un seul présentait un rapport $\Sigma NG/\Sigma ND$ nettement supérieur à 1.

Groupe 4 — Un seul des trois sujets présentait un rapport $\Sigma NG/\Sigma ND$ nettement supérieur à 1.

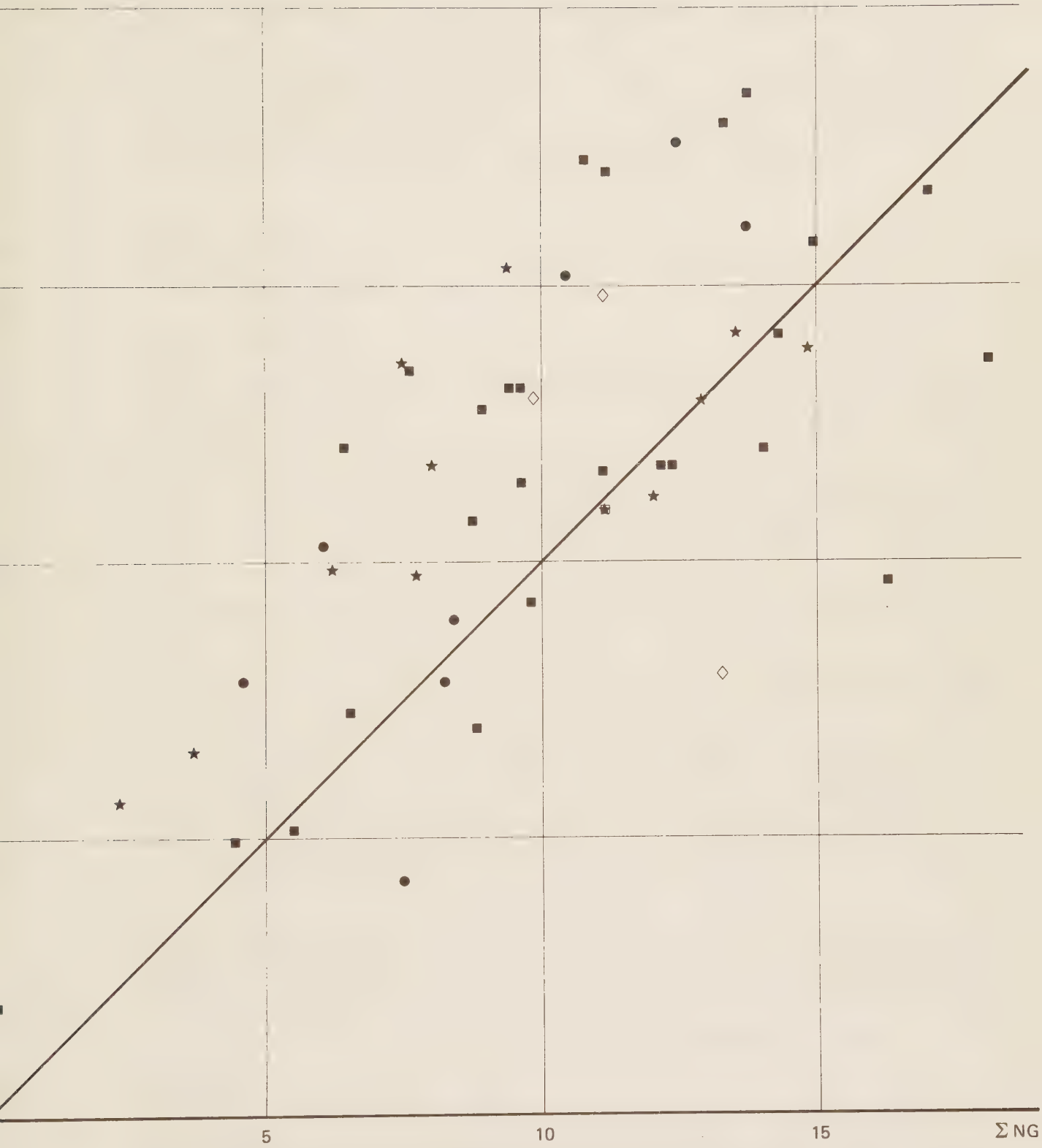
Il apparaît donc, dans l'ensemble de ces résultats, que le rapport $\Sigma NG/\Sigma ND$ est inférieur ou très voisin de 1 pour tous ces groupes de sujets malgré l'apparente disparité de leur activité et de leur fonction à bord des avions. Il faut cependant remarquer que le mécanicien de bord a une activité oculaire et céphalique parallèle à celle du pilote et que leur méthodologie de travail est la même.

L'examen des courbes obtenues à partir du calcul des fréquences du nystagmus droit et du nystagmus gauche en différents points du tracé, pour des taux d'accélération déterminés, nous a donné un résultat semblable mais moins démonstratif. On a pu noter cependant que l'inversion de la prépondérance de NG/ND se manifeste très tôt dans le tracé, dès les toutes premières périodes.

2) Chez certains sujets, nous avons procédé au calcul de l'amplitude totale du nystagmus droit et gauche pour certaines périodes, de façon à pouvoir en dresser des courbes en expression semi-logarithmique et les comparer à celles de la fréquence totale calculée au même moment (voir figure p.32).

3) Vitesse angulaire de la phase lente :

On peut en connaître la valeur uniquement par un calcul fait à partir des données de la courbe des amplitudes, en expression semi-logarithmique, compte tenu du fait que les enregistrements sont faits avec une constante de 0,3.




Mise en évidence de la prépondérance de Σ ND par rapport à Σ NG

En abcisse : nombre total de secousses gauches (Σ NG)
En ordonnée : nombre total de secousses droites (Σ ND)

■ : pilotes militaires
● : pilotes de ligne civils
★ : navigants militaires non pilotes
◇ : pilotes privés

(pour les écarts extrêmes, voir plus loin)

Il apparaît donc que, contrairement aux sujets «normaux», le rapport $\Sigma NG/\Sigma ND$ devient inférieur ou très voisin de 1 chez les sujets habitués au vol, ayant des responsabilités dans la commande, la navigation et le fonctionnement des avions. Il faut, en effet, constater qu'il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus chez les pilotes et les techniciens navigants non pilotes. Mais il faut savoir que ces derniers pratiquent souvent le pilotage en aéro-club et y font volontiers de la voltige et que, surtout, comme nous l'avons déjà dit, leur travail oculaire et céphalique est superposable à celui des pilotes.

**B - PNC**

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative par rapport à un groupe de sujets témoins.

**C - Elèves pilotes**

1) à zéro heure de vol : les résultats sont identiques à ceux des sujets témoins ($\Sigma NG/\Sigma ND$ supérieur à 1)

2) à 40 heures de vol : $\Sigma NG$ devient égal à $\Sigma ND$ ou la tendance à l'égalisation est manifeste

3) à cent heures de vol, $\Sigma NG$ est inférieur à $\Sigma ND$.

L'évolution des autres paramètres se déduit aisément de ces modifications. Comme chez les PNC, il a été pratiqué chez certains de ces élèves-pilotes des stimulations selon les canaux verticaux : aucune courbe comparative n'a pu être tracée jusqu'à présent.

D - Cas particulier des pilotes confirmés (plusieurs milliers d'heures de vol) présentant des syndromes vertigineux.

Vingt cinq de ces sujets, âgés de 43 à 55 ans ayant en commun la particularité d'être des neurotoniques et des anxieux, furent l'objet d'un examen électronystagmographique. Ils présentaient spontanément un nystagmus vertical inférieur de position.

L'épreuve pendulaire a montré que chez ces sujets, il n'existait pas de modification du phénomène d'inversion de la prépondérance des secousses gauches par rapport aux secousses droites ; ND restait donc supérieur à NG malgré l'interférence du nystagmus vertical inférieur. On se rappelle cependant (voir ci-dessus) que s'il existe un nystagmus spontané horizontal d'origine vestibulaire ou, plus rarement, non vestibulaire, celui-ci interfère sur le phénomène précédemment décrit.

E - Essai de reproduction de ce phénomène d'inversion de la prépondérance de la fréquence totale des secousses gauches par rapport aux secousses droites selon un protocole expérimental se déroulant au sol chez les sujets apprentis pilotes, présentant des troubles d'adaptation à la fonction de pilotage.

Cet essai concernait trois sujets âgés de 19 à 22 ans sans antécédents ORL ou OPH.

**1) Protocole**

Les constantes d'enregistrement utilisées étaient les mêmes que celles définies précédemment.

La stimulation était composée d'oscillations pendulaires amorties répétées sans intervalle de repos, accompagnées de mouvements actifs de la tête dans un plan frontal, de vitesse assymétrique, se déroulant dans un sens opposé à l'accélération négative du fauteuil.

Le sujet était placé dans l'obscurité, yeux ouverts ou fermés selon son désir.

La durée de l'examen variait comme suit :

– on interrompait la première séance lorsque le sujet éprouvait des malaises (nausées), soit au bout de dix à quinze minutes.
– le nombre d'épreuves pendulaires était ainsi progressivement augmenté jusqu'à en réaliser huit, soit un temps total de 45 minutes environ.

Durant la première semaine, le sujet a été soumis à deux séances, à trois séances les semaines suivantes. On cessait toute stimulation au bout de dix séances soit environ après un mois d'épreuves.

**2) Résultats**

Après la troisième séance, on constatait une égalisation de la sensation de désagrément pour les deux sens de stimulation.

Après la cinquième ou la sixième séance, un début d'inversion du phénomène de désagrément par rapport au sujet normal apparaissait : le sens horaire devenant plus désagréable que le sens anti-horaire. Ce stade correspondait sur les tracés à une égalisation de $\Sigma$ NG/$\Sigma$ ND.

Après la dixième séance, $\Sigma$ NG était inférieur à $\Sigma$ ND, les sujets n'étaient plus nauséeux et les stimulations pouvaient être continuées longtemps sans apparition de malaise.

A la suite de ces épreuves, une amélioration patente sur le plan professionnel s'est immédiatement manifestée par la disparition des troubles d'adaptation à la fonction de pilotage et la possibilité d'exécuter des manœuvres nocives, en particulier des virages serrés.

Nous ne connaissons pas actuellement la durée de rétention de ce phénomène ainsi expérimentalement acquis. Des travaux se poursuivent dans ce sens.

**3) Discussion**

*Installation du phénomène*

a) Chez les jeunes élèves pilotes :

L'égalité entre $\Sigma$ NG et $\Sigma$ ND ou la tendance marquée à l'égalisation nécessitent au minimum quarante heures de vol. Dans ces conditions, peut-être l'ensemble du système oculo-labyrinthique est-il sollicité d'une manière plus intermittente et moins consciente que dans le procédé de reproduction expérimentale.

b) Reproduction expérimentale au sol :

Dans ce procédé, l'égalité de $\Sigma$ NG et $\Sigma$ ND ou la tendance marquée à l'égalisation ne nécessitent que quatre à cinq heures d'entraînement et l'inversion de la prépondérance, huit heures environ.

Ici le système labyrinthique intervient seul puisque le sujet est placé dans l'obscurité totale sans référence visuelle.

Dans ces deux cas, la stimulation est provoquée par un mouvement actif de la tête, associé à un mouvement passif de l'ensemble du corps (rotation du fauteuil, diverses accélérations de l'avion).

Mais la différence entre ces deux manières d'obtenir le phénomène décrit peut laisser penser que l'intervention du travail oculo-moteur agit en inhibant l'acquisition de ce que nous considérons comme une manifestation d'habituation vestibulaire.

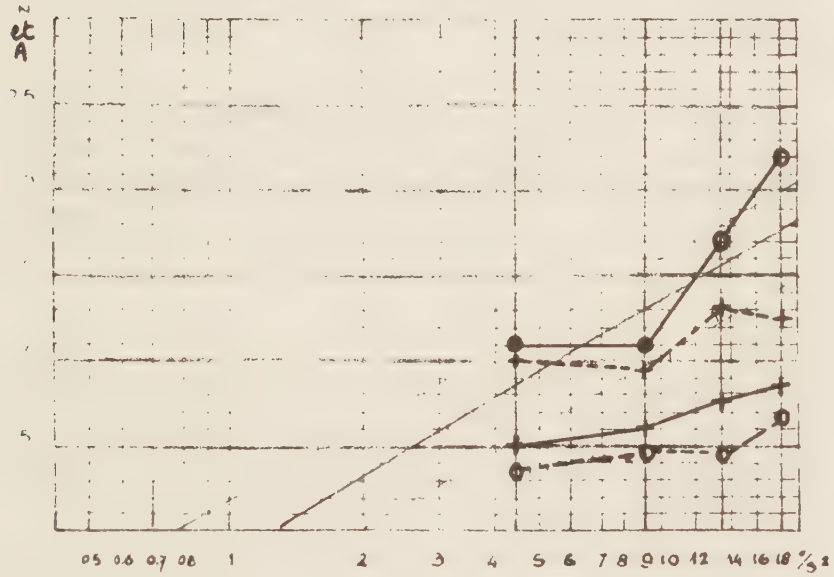
On peut se demander dans quelle mesure une étude ultérieure ne devrait pas essayer de reproduire cet effet freinateur en combinant un travail oculaire aux manœuvres de Coriolis

qui constituent le stimulus du procédé de reproduction expérimentale au sol. Ceci correspondrait mieux au travail réel du pilote. Seul un examen comparatif des résultats de ces deux méthodes permettrait de choisir l'une ou l'autre.

*Durée de la rétention*

Une rétention de longue durée de ce phénomène d'inversion de la prépondérance de $\Sigma$ NG par rapport à $\Sigma$ ND a été mise en évidence chez d'anciens pilotes passés au PNC pour insuffisance de bagage technique (nombre : 3), ayant de ce fait perdu toute fonction de pilotage ou d'assistance au pilotage.

Quelle sera la durée de la rétention de ce phénomène lorsqu'il aura été acquis expérimentalement au sol et utilisé ultérieurement ?



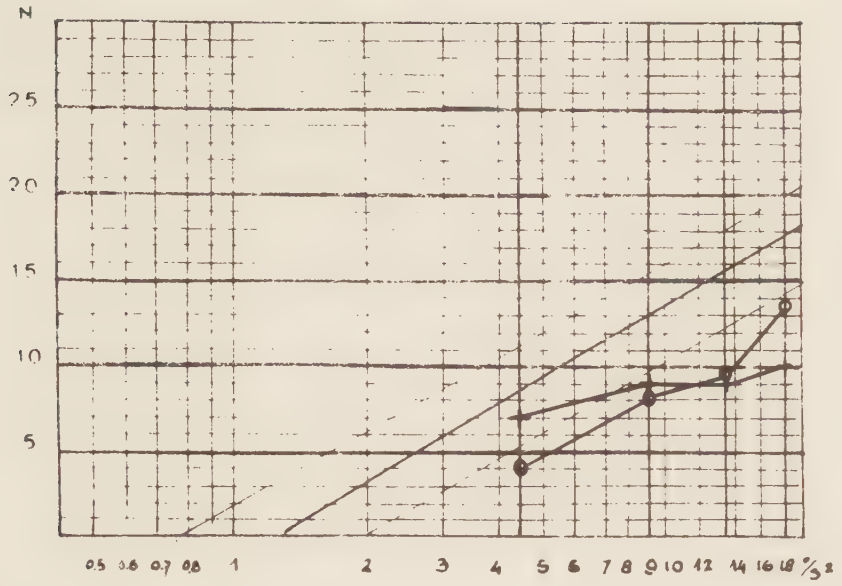

Monsieur B... (pilote de ligne)

Expression de l'amplitude totale G et D pour chaque période et de la fréquence totale G et D pour chaque période et pour diverses valeurs de l'accélération angulaire.

Ce type de représentation est fidèle à ce que l'on sait de $\Sigma$ NG/$\Sigma$ ND, ici égal à 0,61 (cas peu fréquent)

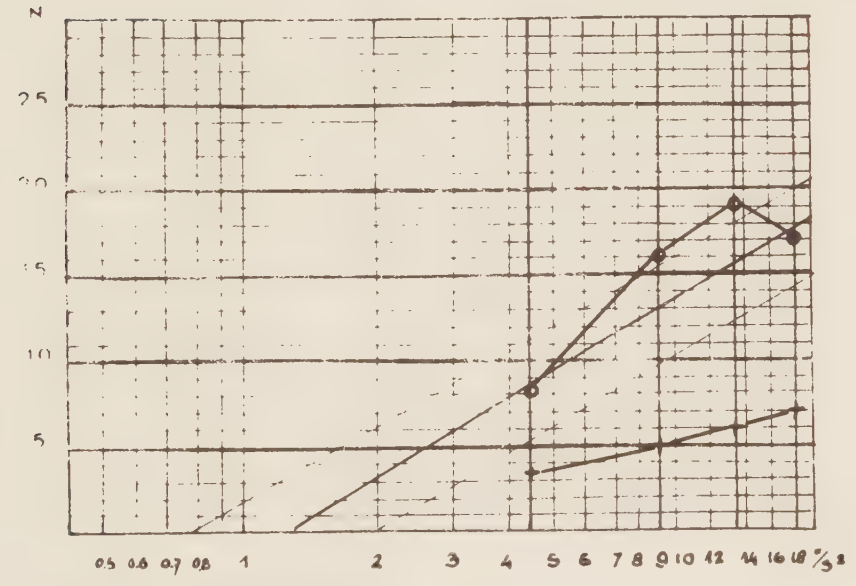
En abscisse : accélération angulaire
En ordonnée :
- nombre total de secousses pour chaque période mesurée
- amplitude totale (en cm) des secousses pour chaque période mesurée.

° = D
\+ = G
—— = fréquence
- - - = amplitude



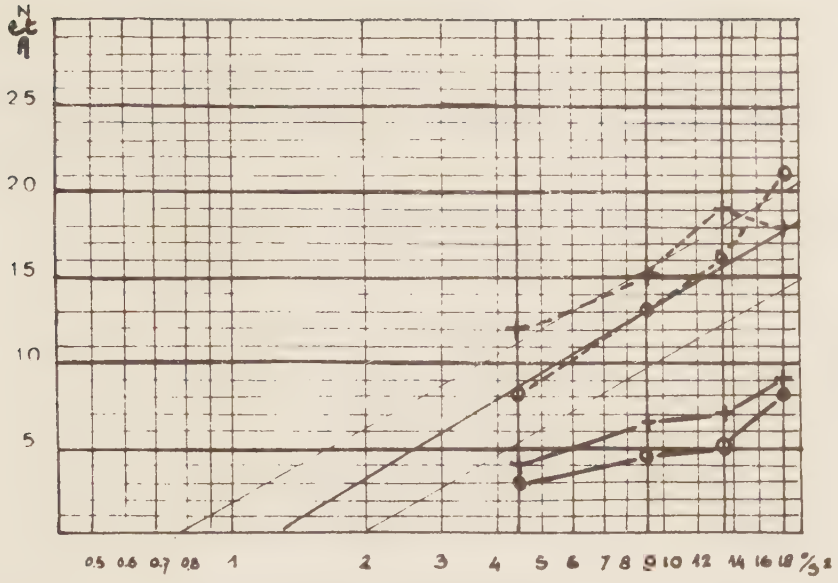

Monsieur P... (navigateur)

Seule la fréquence totale pour chaque période est représentée pour $\Sigma NG/\Sigma ND = 0{,}69$, ce type de représentation ne met pas tout en évidence l'inversion de la prépondérance (cas peu fréquent).



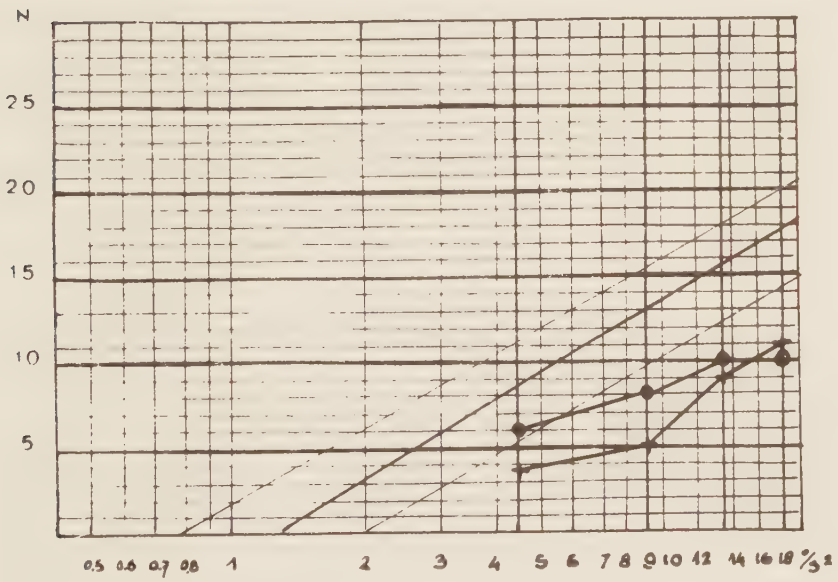

Monsieur B... (pilote de chasse)

Le sujet a un $\Sigma NG/\Sigma ND = 1{,}43$ avec un nystagmus spontané gauche.
Ce type de représentation donne une idée tout à fait fausse de la réalité.




Monsieur G...

Les conventions sont les mêmes que sur les graphiques précédents ici $\Sigma NG/\Sigma ND = 1{,}01$. On voit que chaque composante du tracé de la fréquence ou de l'amplitude est très voisine de son homologue de sens opposé.




Monsieur D... (pilote de chasse)

Seule la fréquence totale pour chaque période est représentée.
Pour $\Sigma NG/\Sigma ND = 0{,}53$, ce type de représentation ne met pas l'inversion de la prépondérance en évidence d'une manière aussi démonstrative que le calcul de la somme totale. (cas fréquent)

*Non-survenue de ce phénomène* en dépit de stimulations subies au cours de certains types de vol.

Il faut noter que le phénomène d'inversion de la prépondérance de $\Sigma$ NG par rapport à $\Sigma$ ND n'a pas été retrouvé chez des pilotes possédant le brevet de premier et de deuxième degrés de pilote d'aéro-club.

Il semblerait que la différence entre les stimulations endurées au cours de vols tels que ceux auxquels sont soumis les élèves de l'Ecole de l'Air et ceux auxquels sont soumis les pilotes d'aéro-clubs, réside dans le fait que ces derniers n'ont pas à faire de mouvements, itératifs, actifs et coordonnés de la tête.

Ces derniers n'ont que peu d'instruments à surveiller, ils utilisent constamment les références visuelles terrestres, leur attention est peu sollicitée au cours du vol. On peut donc considérer qu'ils sont constamment exposés à l'effet inhibiteur du système oculaire.

Tout au contraire, les premiers doivent se soumettre au contrôle régulier et méthodique des instruments, selon des protocoles bien définis et inamoviles ; le vol aux instruments, l'usage de l'horizon artificiel qui contrebalancent la privation de points de repaire terrestre, permettent à la fixation oculaire de lutter contre les illusions sensorielles labyrinthiques.

Les élèves de l'ENAC, après une sélection psychotechnique en vol durant vingt heures, subissent pendant 250 heures un stage de perfectionnement au pilotage avec références visuelles terrestres. C'est seulement après cette étape préalable que ces élèves sont soumis au vol IFR ou PSV. Cette procédure d'apprentissage peut expliquer que malgré un nombre d'heures de vol relativement important, il puisse encore y avoir des échecs lors du passage à l'apprentissage du PSV.

De plus, il est bien connu que certains pilotes de voltige professionnels n'ont jamais pu obtenir leur brevet de PSV !

*Intervention du type de processus de reproduction expérimentale*

Nous avons mis en évidence par une méthode relativement simple un phénomène objectivant l'habituation vestibulaire, il n'est pas exclut que ce même phénomène soit retrouvé grâce à d'autres types de stimulation selon d'autres protocoles. Ainsi P.J. DOW a mis en évidence, par un protocole différent la possibilité d'augmenter chez certains sujets la tolérance à des stimulations vestibulaires nocives.

*Les paramètres mesurés :*

a) La fréquence :

Les tentatives d'exploitation des courbes de fréquence telles qu'elles sont définies depuis plusieurs années par l'Ecole de Strasbourg (expression en coordonnées semi-logarithmiques) ne nous sont pas apparues, dans ce travail, particulièrement profitables. La raison en est peut-être due au faible, mais presque constant écart entre le nombre des secousses droite et gauche sur une même période. Par contre le rapport entre les sommes totales du nombre de secousses droites et gauches ($\Sigma$ NG/$\Sigma$ ND) paraît beaucoup plus significatif. On s'est même aperçu que la différence des rapports $\Sigma$ NG/$\Sigma$ ND dressée sur dix périodes et sur vingt périodes, n'influençait pas le résultat. On pourrait donc se contenter de ne compter que sur les dix premières périodes, multipliant ainsi le faible écart entre NG et ND par dix, ce qui le rend beaucoup plus évident.

b) L'amplitude :

Sa modification est une fonction de la modification de la fréquence. Le calcul de l'amplitude totale ferait donc apparaître des modifications évoluant dans le sens inverse des modifications de la fréquence mais son calcul serait d'une réalisation beaucoup plus complexe.

## CONCLUSION

L'habituation vestibulaire est un phénomène bien défini depuis plusieurs années. Nous l'avons mis en évidence à l'aide d'enregistrements nystagmographiques ainsi que de stimulations pendulaires amorties.

Parmi l'ensemble des paramètres classiquement mesurés, nous avons retenu celui de la fréquence totale ; mais c'est surtout le rapport du nombre total des secousses droites et gauches qui nous paraît le plus significatif :

$R = \Sigma NG / \Sigma ND$ étant plus démonstratif que la comparaison de la fréquence des secousses droites et gauches dans la même période.

L'inversion de la prépondérance du nombre total des secousses gauches par rapport au nombre total des secousses droites, ce qui est la règle chez le sujet témoin n'ayant aucune expérience du vol, présentant les caractères d'une habituation vestibulaire, a été retrouvée chez les PNT confirmés (plus de 2 000 heures de vol).

Nous avons pu surveiller l'installation de ce phénomène d'inversion au cours de l'apprentissage du pilotage et contrôler sa rétention.
Nous avons pu reproduire expérimentalement ce phénomène au sol.
Nous avons pu tenter d'évaluer le rôle inhibiteur du système oculo-moteur dans l'installation de ce phénomène grâce à la comparaison de sa rapidité d'installation.

Ce test de mise en évidence de l'habituation vestibulaire paraît utilisable pour la surveillance de la fonction de l'équilibre, du développement de l'habituation au cours de l'apprentissage du vol. Il peut permettre d'expliquer certains échecs lors de l'apprentissage du PSV et, comme DOWD l'avait déjà montré, de remédier à la difficulté de synchronisation du système oculo-labyrinthique et d'adaptation à la fonction de pilotage chez des sujets dont la motivation est bonne et dont la pré-sélection est satisfaisante.

Enfin, lors de certains états pathologiques et après guérison, il peut être utilisé pour l'autorisation de la reprise de l'activité aéro-spatiale.

## BIBLIOGRAPHIE


1 ABELS H. : Ueber Nachempfindungen in Gebiete der Kinesthetischen und Statischen Sinnes. Ein Betrag zur Lehre vom Bewegungsschwindel - Zg. Psychol. 43 268 (1906)

2 ASCHAN G., BERGSTEDT M. & STAHLE J. : Nystagmography : recording nystagmus in clinical neuro-otological examination Acta ORL suppl. 129.

3 BARBER H. & WRIGHTG. : Release of nystagmus suppression in clinical ENG. - Laryngoscope 77 (1967).

4 BRAND J.J. : The effect of repetition on measurement of postrotational turning sensation and nystagmus in man. - J. Exp. Physiol. 53.312 (1968)

5 BRANT-CLARK : Seuils pour la perception de l'accélération angulaire chez l'homme. - Aerospace Medicine, May, 1967, p. 443 to 449

6 BERGSTEDT M. : Vestibularorgan und Raumfahrt - Arch. Klin. Exp. Ohr, Nase u. Kehl Heil. Bd 194 (1969), p. 195 - 200

7 BORDES L.R., ROBERT P. et BEAUCHAMPS G : L'électronystagmographie dans le personnel navigant de l'aviation. - Rapport au 60e Congrès d'ORL (1963), p. 304 à 312.

8 BUONGIOVANNI S. et HAHN R. : Effet des stimulations vestibulaires itératives. Journal Français d'ORL (1968/XVII/n° 6) - p. 517 à 519

9 COLES R.R.A. : Personal communication (1968)

10 COLES R.R.A. & KNIGHT J.J. : Aural and audiometric survey of qualified divers and submarine espace training tank instructions. Med. Res. Counc. Rep. RNP. 61 - 1011

11 COLLARD M., CONRAUX C. et THIEBAUT S. : Etude de l'habituation vestibulaire par l'épreuve pendulaire - Résultats en pathologie. Rev. Neurolog. - juin 1969, 120, n° 6 p. 436 à 438

12 COLLINS W.E. & GUEDRY F.E. : Arousal effects and nystagmus during prolonged constant acceleration. Acta Oto Laryng. 54,349-362 (1962)

13 COLLINS W.E. : Effects of mental set up vestibular nystagmus. J. Exp. Psychol. 63-191-197 - 1962

14 COLLINS W.E. : Task control of arousal effect of repeated unidirectional angular acceleration on human vestibular responses. F.A.A. CAR report - 63-29

15 COLLINS W.E. & CAPPS M.J. : Effects of bilateral caloric habituation on vestibul. nyst. in the ear. Acta Otolaryn. 59 Fas. 6 1965

16 COLLINS W.E. : Vestibular responses from figure skaters. - Aerosp. Med. 37 - 1098 - (1966)

17 COLLINS W.E. : Effects on vestib. hab. of interrupting nyst. responses with opposing stimuli. - J. Camp. Physiol. 64-308-312 (1967)

18 COLLINS W.E. : Special effects of brief periods of visual fixation on nystagmus and sensations of turning. - Aerospace Medecine 39-257-266 (1968)

19 DIX M.R. & HOOD J.D. : Observations sur le mécanisme neurologique de l'habituation vestibulaire (au moyen des tests rotatoires) - Acta ORL - Fév., Mars 1969, 67, n° 2, 3 p. 310 à 318

20 DODGE R. : A mirror recorder for photographing compensatory movements of closed eyes. - J. Exp. Psychol. 4. 165 (1921)

21 DODGE R. : Habituation to rotation. - J. Exp. Psychol. 6. L (1923)

22 DOWD P.J. & COLLINS W.E. : Effects of flying experience on the vestibular system : a comparison between pilots and non-pilots to coriolis stimulation. - Aerosp. Medecine - Jan. 1964, p. 45 to 47

23 DOWD P.J. & COLLINS W.E. : Resistance to motion sickness through repeated exposure to coriolis stimulation. - Aerosp. Medecine - May, 1965 - p. 452 to 455

24 GOETMAKERS R. : Vestibular adaptation in rana - Adv. ORL, Vol. 17 (1970) - p. 107 to 116

25 GRANDPIERRE R. & ROZIER J. : Système vestibulaire et vols spatiaux - Méd. et Hygiène, 25, 796, 1043, 1050 (1967)

26 GREINER G.F. & CONRAUX C. : L'habituation vestibulaire : valeur clinique - Soc. Fr. ORL - Congrès 1964 - p. 204 à 214

27 GREINER G.F., CONRAUX C., MAITRE B., COLLARD M. & THIEBAUT S. : Etude de l'habituation vestibulaire par stimulations pendulaires répétées. - Adv. ORL, Vol. 17 - (1970) - p. 137 à 147

28 GREINER G.F., ROHMER F., COLLARD M. & CONRAUX C. : Influence des facteurs corticaux et sous-corticaux sur la réponse vestibulaire.

29 GRIBENSKI A. : L'innervation efférente du vestibule - Annales Otolaryng. (Paris) - 87 - n° 1-2. - (1970) - p. 77 à 90

30 GROSE VERNON L. : Deleterious effect on aeronaut capability of vestibulo-ocular disturbance during spacecraft roll acceleration. Aerosp. Medecine - Nov., 1967 - p. 1138 to 1144

31 GUEDRY F.E. : Habituation to complex vestibular stimulation in man : transfer and retention of effects from twelve days of rotation at 10 RPM. Precepts Motor. Skills 21, 459 - 1965.

32 GUEDRY F.E. : Some vestibular problems related to orientation in space. - Acta ORL - 65/1-2, (1968) - p. 174 to 185

33 HALLPIKE & HOOD J.D. : Fatigue et adaptation du système cupulaire du canal semi-circulaire horizontal chez l'homme : une investigation expérimentale. - Proc. Roy. Soc. (Biol) - 141, 542 - (1953)

34 JONGKEES L.B.W. : Physiologie et physiopathologie du vestibule. - Arch. Klin. Exper. Ohren-Nasen-Kehl-Kopf - 194 (n° 1-2), - p. 1, 110 et 149 à 150 - (1969)

35 KAPHAN : A propos de l'habituation vestibulaire - Adv. ORL vol. 17 - (1970) - p. 196 à 200

36 MALCOLM M.R. & JONES G.M. : Etude quantitative de l'adaptation vestibulaire chez l'homme. - Acta O.L. - Août 1970, 70, n° 2. - p. 126 à 135

37 MARSHALL J.E. & BROWN J.H. : Visual arousal interaction and specificity of nystagmus habituation. Aerospace Medecine - 38-597 - (1967)

38 MASPETIOL R. SEMETTE D., FOURNIER J.C., KERAVEC J. : L'habituation vestibulaire par les épreuves rotatoires. - Annales O.L. - Juin 1965, 82 - n° 6 - p. 429 à 434.

39 MONNIER M., BELIN I. & POLC P. : Facilitation, Inhibition and Habituation of the Vestibular Responses. - Adv. ORL, Vol. 17 - (1970) - p. 28 à 55

40 MONTANDON A., HUGUENIN S. & ROHR A. : Vestibular Habituation : Experimental ENG results. - Adv. ORL, Vol. 17 (1970) - p. 129 à 134

41 OGDEN, FRANCK W. & Coll. : Disorientation experiences of army helicopter pilots. - Aerospace Medecine - Feb., - 1966 - p. 140 to 143

42 OSTERHAMMEL P., TERKILDSEN K & ZILSTORFF K. : L'habituation vestibulaire chez les danseurs de ballet. - Acta O.L. - Sept. 1968, 66, n° 3 - p. 221 à 228

43 PFALTZ C.R. & PIFKO P. : Studies on habituation of the human vestibular system - Adv. O.R.L. - Vol. 17 - (1970) - p. 170 to 178

44 PIALOUX P., GIBERT A, BLANC P., CHOUARD C. & FONTELLE P. : Study on vestibular habituation among pilots and flying staff in terms of their training and seniority. - Adv. ORL, Vol. 17 - (1970) - p. 167 - 168

45 PIALOUX P., BURGEAT M., CHOUARD C., BLANC P., FREYSS G. & FONTELLE P. : Modifications des réponses vestibulaires en fonction de la durée et de la répétition des stimulations. Congrès de la Soc. Latina ORL - Catane 16-19 avril 1968 - in rapport - p. 199-215

46 THORPE W.H. : The concepts of learning and their relations to those of instinct. - Physiological mechanism in animal behaviour. - Symp. Soc. Exp. Biol. 4, 387 - Cambridge University Press (1950)

47 TOROK N. : The effect of arousal upon vestibular nystagmus. - Adv. ORL, Vol. 17 - (1970) - p. 76 to 89

48 TOROK N. & JOHNSON D.D. : Habituation of nystagmus and sensation of motion after rotation. Acta Othlaryng. 69 - (1970) - p. 206 to 215

49 YUGANOW E.M. & coll. : Vestibular reactions of cosmonauts during the flight in the «Voskhod» spaceship. - Aerospace Medecine - July, 1966 - p. 691 to 694

Le lecteur pourra trouver la référence des travaux de certains auteurs cités dans le texte, dans la bibliographie des ouvrages cités ci-dessus, aux numéros qui s'y rapportent.